

軟 節 剛 材 鎖 理 論 (5)

— 軟 節 板 の 略 算 法 に つ い て —

Sandwich 構法による Curtain Wall に関する研究 (10)

江 上 外 人^{*}

Theory of the Chain Construction with Elastic Joints (5)

—Practical analysis of the Simply Supported Chain Plate with Elastic Joints—

(Study on the Sandwich Curtain Wall (10))

Hokato EGAMI

(Received Apr. 9, 1968)

In the previous paper, the author reported the theory of the Chain Construction with Elastic Joints as well as the results of the experimental study on the Sandwich Curtain Wall. It was shown that the theory could be applied to the wall with close approximation in its vertical direction (Y-axis).

In the horizontal direction however it was found isotropic (X-axis). As the result of the experimental study on deflection of the Rectangular Plate composed of isotropic plates and elastic joints, the deflection-form of the plates along the Y-axis is invariable regardless of $l_y:l_x$, and the values of $\delta':\delta$ along X-axis are 1.50 for all, at 1~1' section, however, it is about 1.43.

The present paper deals with a practical analysis in the Simply Supported Chain Plate with Elastic Joints.

The followings are obtained.

- 1, If it be assumed that λ is constant and $\zeta_m'n'=\zeta_{mn}=0.5$, we get $\gamma_{\sigma,1}=0.46(1-\eta_5)$ and $\mu=1.618$ ($\lambda=1.618$).
- 2, By this assumption, practical analysis of it becomes very handy.
- 3, An error obtained by this practical analysis is only 8.11 percent.

1 前 が き

さきの実験¹⁾によれば, Sandwich 構法の Curtain Wall を周辺支持し, この面に垂直な荷重を作用させれば, 撓曲線は次のようであった。

i 1~5 および 1'~5' の撓曲線の形状は l_y/l_x に関係なく, それぞれほぼ一定している。

ii 1~5 の撓曲線と 1'~5' の撓曲線の形はほぼ等しい。

iii 従って, l_x 断面の撓曲線は 1~1' 断面を除き, y 方向の各断面では一定であり, 1~1' の撓曲線はそれよりやや平になる。

iv l_x 断面の撓曲線は折線変形をする。
この実験結果を用いて次の諸仮定を設ける。

* 助教授

仮定：

- i y 方向の要素の変形は弾性単純梁の変形をする。
- ii x 方向の要素の変形は接合部の角変化のみによる変形をし、軟節剛材鎖理論が適用できる。
- iii ℓ_x 断面の剛材鎖変形は 1~1' 断面を除き相似である。
即ち、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\delta_2'}{\delta_2} = \frac{\delta_3'}{\delta_3} = \frac{\delta_4'}{\delta_4} = \frac{\delta_5'}{\delta_5} = \mu, \\ \frac{\delta_1'}{\delta_1} = \mu'. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

- iv 分布荷重は正方形に区分された格子の節点に集中して作用するものとする。

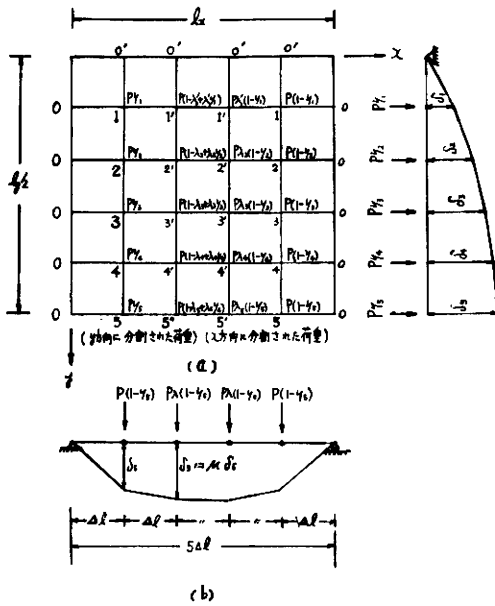


図 1

$$\left. \begin{aligned} \frac{6EI}{\Delta \ell^3} \delta_1 &= 26p_1 + 47p_2 + 62p_3 + 71p_4 + 37p_5, \\ \frac{6EI}{\Delta \ell^3} \delta_2 &= 47p_1 + 88p_2 + 118p_3 + 136p_4 + 71p_5, \\ \frac{6EI}{\Delta \ell^3} \delta_3 &= 62p_1 + 118p_2 + 162p_3 + 189p_4 + 99p_5, \\ \frac{6EI}{\Delta \ell^3} \delta_4 &= 71p_1 + 136p_2 + 189p_3 + 224p_4 + 118p_5, \\ \frac{6EI}{\Delta \ell^3} \delta_5 &= 37p_1 + 71p_2 + 99p_3 + 118p_4 + 62p_5. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

今 $p_1 = p_2 = \dots\dots\dots p_5 = p$ のとき、

$$\left. \begin{aligned} \frac{6EI}{\Delta \ell^3} \delta_1 &= 243p, & \frac{6EI}{\Delta \ell^3} \delta_2 &= 460p, & \frac{6EI}{\Delta \ell^3} \delta_3 &= 630p, \\ \frac{6EI}{\Delta \ell^3} \delta_4 &= 738p, & \frac{6EI}{\Delta \ell^3} \delta_5 &= 775p. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

2 解 法

節点荷重 p を 1~5 点では y 方向の弾性単純梁に $p\eta_i$, x 方向の軟節剛材鎖に $p(1-\eta_i)$ に分割し、また 1'~5' 点では (1) 式を満足するような荷重を x 方向では $p\lambda(1-\eta_i)$ とすれば、y 方向では $p(1-\lambda+\lambda\eta_i)$ となる。

これを図 1 に示す。

2・1 静定撓みの一般式

単純梁および軟節剛材鎖の撓み並びに薄い板の振りに関する一般式をそれぞれ次に示す。

2・1・1 y 方向の単純梁の撓みの一般式

図 2(a) の場合の各点の撓みは (2) 式となる。

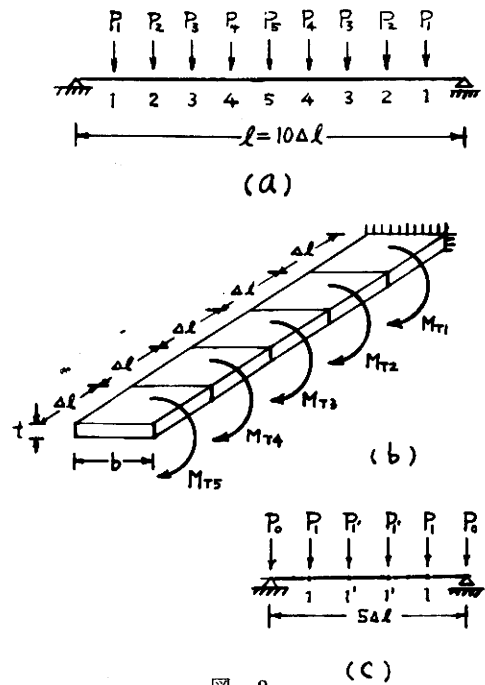


図 2

2・1・2 y 方向の振りの一般式

薄い矩形板の振りについては、次の実験式²⁾がある。

$$\phi_i = \theta \ell = \frac{3M_i}{bt^3G} \ell, \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\tau_{max} = \frac{3M_i}{bt^2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに b : 板巾, t : 板厚, ℓ : 板長, θ : 振角, M_i : 振りモーメント
図2(b)のごとく、一端固定し振りモーメントを作用させた場合の振れ角は、

$$\left. \begin{aligned} 0 \sim 1 \dots\dots \phi_1 &= \frac{3\Delta\ell}{bt^3G} \sum_1^5 M_{Ti}, \\ 1 \sim 2 \dots\dots \phi_2 &= \phi_1 + \frac{3\Delta\ell}{bt^3G} \sum_2^5 M_{Ti}, \\ 2 \sim 3 \dots\dots \phi_3 &= \phi_2 + \frac{3\Delta\ell}{bt^3G} \sum_3^5 M_{Ti}, \\ 3 \sim 4 \dots\dots \phi_4 &= \phi_3 + \frac{3\Delta\ell}{bt^3G} \sum_4^5 M_{Ti}, \\ 4 \sim 5 \dots\dots \phi_5 &= \phi_4 + \frac{3\Delta\ell}{bt^3G} M_{T5}. \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(6)$$

2・1・3 x 方向の軟節剛材鎖の撓みの一般式

図2(c)のごとく、軟節剛材鎖を単純支持した場合の撓みは、

$$\delta_i = (2p_i + 3p_i') \frac{\Delta\ell^2}{S}, \quad \delta_i' = (3p_i + 5p_i') \frac{\Delta\ell^2}{S}. \quad \dots\dots\dots(7)$$

2・1・4 x 方向の軟節剛材鎖の振りの一般式

図2(b)と同様に、軟節剛材鎖を一端固定し、振りモーメントを作用させた場合の振れ角は、

$$\phi_i = \frac{3M_{Ti} \Delta\ell}{bt^3G_R}. \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 \sim 1 \dots\dots \phi_1 &= \frac{3\Delta\ell}{bt^3G_R} (M_{T1} + M_{T2}), \\ 1 \sim 2 \dots\dots \phi_2 &= \phi_1 + \frac{3\Delta\ell}{bt^3G_R} M_{T1}. \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(9)$$

2・2 x 方向の変形と荷重

各要素の軟節剛材鎖に作用する応力（鉛直方向の節点力）を図3のように現すこととする。

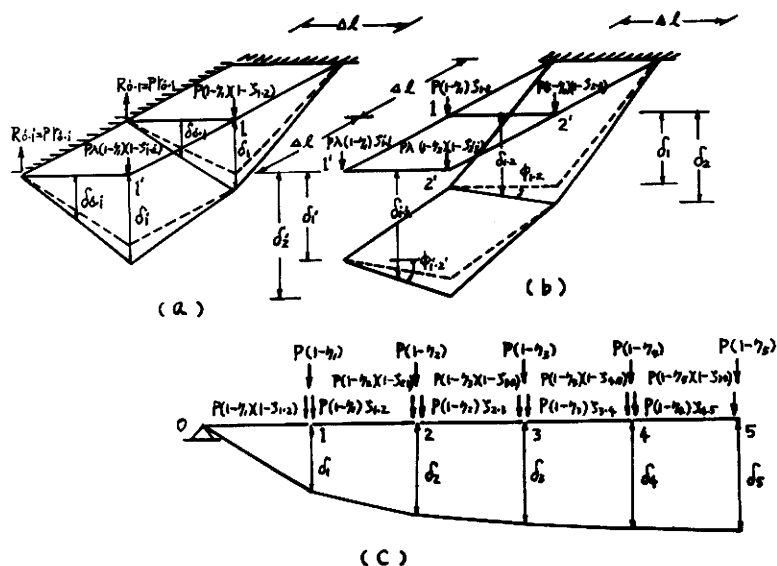


図 3

2・2・1 巾 Δl の要素についての鉛直荷重と撓みとの関係式

各単位の中央線の撓みは、(7)式を用いて図3より、

$$\left. \begin{aligned}
 \delta_{0'.1} &= [-2r_{0'.1} + 2(1-\eta_1)(1-\zeta_{1.2}) - 3r_{0'.1'} + 3\lambda_1(1-\eta_1)(1-\zeta_{1'.2'})] \frac{p\Delta\ell^2}{S}, \\
 \delta_{1.2} &= [2(1-\eta_1)\zeta_{1.2} + 2(1-\eta_2)(1-\zeta_{2.3}) + 3\lambda_1(1-\eta_1)\zeta_{1'.2'} + 3\lambda_2(1-\eta_2)(1-\zeta_{2'.3'})] \frac{p\Delta\ell^2}{S}, \\
 \delta_{2.3} &= [2(1-\eta_2)\zeta_{2.3} + 2(1-\eta_3)(1-\zeta_{3.4}) + 3\lambda_2(1-\eta_2)\zeta_{2'.3'} + 3\lambda_3(1-\eta_3)(1-\zeta_{3'.4'})] \frac{p\Delta\ell^2}{S}, \\
 \delta_{3.4} &= [2(1-\eta_3)\zeta_{3.4} + 2(1-\eta_4)(1-\zeta_{4.5}) + 3\lambda_3(1-\eta_3)\zeta_{3'.4'} + 3\lambda_4(1-\eta_4)(1-\zeta_{4'.5'})] \frac{p\Delta\ell^2}{S}, \\
 \delta_{4.5} &= [2(1-\eta_4)\zeta_{4.5} + 2(1-\eta_5)(1-\zeta_{5.4}) + 3\lambda_4(1-\eta_4)\zeta_{4'.5'} + 3\lambda_5(1-\eta_5)(1-\zeta_{5'.4'})] \frac{p\Delta\ell^2}{S}, \\
 \delta_{0'.1'} &= [-3r_{0'.1} + 3(1-\eta_1)(1-\zeta_{1.2}) - 5r_{0'.1'} + 5\lambda_1'(1-\eta_1)(1-\zeta_{1'.2'})] \frac{p\Delta\ell^2}{S}, \\
 \delta_{1'.2'} &= [3(1-\eta_1)\zeta_{1.2} + 3(1-\eta_2)(1-\zeta_{2.3}) + 5\lambda_1(1-\eta_1)\zeta_{1'.2'} + 5\lambda_2(1-\eta_2)(1-\zeta_{2'.3'})] \frac{p\Delta\ell^2}{S}, \\
 \delta_{2'.3'} &= [3(1-\eta_2)\zeta_{2.3} + 3(1-\eta_3)(1-\zeta_{3.4}) + 5\lambda_2(1-\eta_2)\zeta_{2'.3'} + 5\lambda_3(1-\eta_3)(1-\zeta_{3'.4'})] \frac{p\Delta\ell^2}{S}, \\
 \delta_{3'.4'} &= [3(1-\eta_3)\zeta_{3.4} + 3(1-\eta_4)(1-\zeta_{4.5}) + 5\lambda_3(1-\eta_3)\zeta_{3'.4'} + 5\lambda_4(1-\eta_4)(1-\zeta_{4'.5'})] \frac{p\Delta\ell^2}{S}, \\
 \delta_{4'.5'} &= [3(1-\eta_4)\zeta_{4.5} + 3(1-\eta_5)(1-\zeta_{5.4}) + 5\lambda_4(1-\eta_4)\zeta_{4'.5'} + 5\lambda_5(1-\eta_5)(1-\zeta_{5'.4'})] \frac{p\Delta\ell^2}{S}.
 \end{aligned} \right\} \dots(10)$$

これらの中央線変位を節点変位で現すには、図3の(a), (b)より、

$$\left. \begin{aligned}
 \delta_{0'.1} &= \frac{0 + \delta_1}{2}, & \delta_{0'.1'} &= \frac{0 + \delta_{1'}}{2}, \\
 \delta_{1.2} &= \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}, & \delta_{1'.2'} &= \frac{\delta_{1'} + \delta_{2'}}{2}, \\
 \delta_{2.3} &= \frac{\delta_2 + \delta_3}{2}, & \delta_{2'.3'} &= \frac{\delta_{2'} + \delta_{3'}}{2}, \\
 \delta_{3.4} &= \frac{\delta_3 + \delta_4}{2}, & \delta_{3'.4'} &= \frac{\delta_{3'} + \delta_{4'}}{2}, \\
 \delta_{4.5} &= \frac{\delta_4 + \delta_5}{2}, & \delta_{4'.5'} &= \frac{\delta_{4'} + \delta_{5'}}{2}.
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(11-1)$$

また逆に節点変位を中央線変位で現せば、

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\delta_1}{2} &= \delta_{0'.1}, \\
 \frac{\delta_2}{2} &= \delta_{1.2} - \frac{\delta_1}{2} = \delta_{1.2} - \delta_{0'.1} = -\delta_{0'.1} + \delta_{1.2}, \\
 \frac{\delta_3}{2} &= \delta_{2.3} - \frac{\delta_2}{2} = \delta_{2.3} - (\delta_{1.2} - \delta_{0'.1}) = \delta_{0'.1} - \delta_{1.2} + \delta_{2.3}, \\
 \frac{\delta_4}{2} &= \delta_{3.4} - \frac{\delta_3}{2} = \delta_{3.4} - (\delta_{0'.1} - \delta_{1.2} + \delta_{2.3}) = -\delta_{0'.1} + \delta_{1.2} - \delta_{2.3} + \delta_{3.4}, \\
 \frac{\delta_5}{2} &= \delta_{4.5} - \frac{\delta_4}{2} = \delta_{4.5} - (-\delta_{0'.1} + \delta_{1.2} - \delta_{2.3} + \delta_{3.4}) = \delta_{0'.1} - \delta_{1.2} + \delta_{2.3} - \delta_{3.4} + \delta_{4.5}, \\
 \frac{\delta_{1'}}{2} &= \delta_{0'.1'}, \\
 \frac{\delta_{2'}}{2} &= -\delta_{0'.1'} + \delta_{1'.2'}, \\
 \frac{\delta_{3'}}{2} &= \delta_{0'.1'} - \delta_{1'.2'} + \delta_{2'.3'}, \\
 \frac{\delta_{4'}}{2} &= -\delta_{0'.1'} + \delta_{1'.2'} - \delta_{2'.3'} + \delta_{3'.4'}, \\
 \frac{\delta_{5'}}{2} &= \delta_{0'.1'} - \delta_{1'.2'} + \delta_{2'.3'} - \delta_{3'.4'} + \delta_{4'.5'}.
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(11-2)$$

(11-2)式に(10)式の中央線撓みを代入すれば節点撓みを荷重で現すことができる。

2・2・2 巾 Δl の要素についての鉛直荷重と捩れ角との関係式

それぞれの単位の捩れ角は(9)式を用いて図3より、

$$\left. \begin{aligned} \phi_{0'.1} &= \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G_R} \{ (1-\eta_1)(1-\zeta_{1.2}) + r_{0'.1} + \lambda_1(1-\eta_1)(1-\zeta_{1'.2}') + r_{0'.1}' \}, \\ \phi_{1.2} &= \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G_R} \{ (1-\eta_2)(1-\zeta_{2.3}) - (1-\eta_1)\zeta_{1.2} + \lambda_2(1-\eta_2)(1-\zeta_{2'.3}') - \lambda_1(1-\eta_1)\zeta_{1'.2}' \}, \\ \phi_{2.3} &= \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G_R} \{ (1-\eta_3)(1-\zeta_{3.4}) - (1-\eta_2)\zeta_{2.3} + \lambda_3(1-\eta_3)(1-\zeta_{3'.4}') - \lambda_2(1-\eta_2)\zeta_{2'.3}' \}, \\ \phi_{3.4} &= \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G_R} \{ (1-\eta_4)(1-\zeta_{4.5}) - (1-\eta_3)\zeta_{3.4} + \lambda_4(1-\eta_4)(1-\zeta_{4'.5}') - \lambda_3(1-\eta_3)\zeta_{3'.4}' \}, \\ \phi_{4.5} &= \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G_R} \{ (1-\eta_5)(1-\zeta_{5.6}) - (1-\eta_4)\zeta_{4.5} + \lambda_5(1-\eta_5)(1-\zeta_{5'.6}') - \lambda_4(1-\eta_4)\zeta_{4'.5}' \}, \\ \phi_{0'.1}' &= \phi_{0.1} + \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G_R} \{ \lambda_1(1-\eta_1)(1-\zeta_{1'.2}') + r_{0'.1}' \}, \\ \phi_{1'.2}' &= \phi_{1.2} + \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G_R} \{ \lambda_2(1-\eta_2)(1-\zeta_{2'.3}') - \lambda_1(1-\eta_1)\zeta_{1'.2}' \}, \\ \phi_{2'.3}' &= \phi_{2.3} + \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G_R} \{ \lambda_3(1-\eta_3)(1-\zeta_{3'.4}') - \lambda_2(1-\eta_2)\zeta_{2'.3}' \}, \\ \phi_{3'.4}' &= \phi_{3.4} + \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G_R} \{ \lambda_4(1-\eta_4)(1-\zeta_{4'.5}') - \lambda_3(1-\eta_3)\zeta_{3'.4}' \}, \\ \phi_{4'.5}' &= \phi_{4.5} + \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G_R} \{ \lambda_5(1-\eta_5)(1-\zeta_{5'.6}') - \lambda_4(1-\eta_4)\zeta_{4'.5}' \}. \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

これらの捩れ角を節点変位で現すには、図3の(a)、(b)より、

$$\left. \begin{aligned} \phi_{0'.1} &= \frac{\delta_1 - 0}{\Delta\ell}, \quad \phi_{0'.1}' = \frac{\delta_1' - 0}{\Delta\ell}, \\ \phi_{1.2} &= \frac{\delta_2 - \delta_1}{\Delta\ell}, \quad \phi_{1'.2}' = \frac{\delta_2' - \delta_1'}{\Delta\ell}, \\ \phi_{2.3} &= \frac{\delta_3 - \delta_2}{\Delta\ell}, \quad \phi_{2'.3}' = \frac{\delta_3' - \delta_2'}{\Delta\ell}, \\ \phi_{3.4} &= \frac{\delta_4 - \delta_3}{\Delta\ell}, \quad \phi_{3'.4}' = \frac{\delta_4' - \delta_3'}{\Delta\ell}, \\ \phi_{4.5} &= \frac{\delta_5 - \delta_4}{\Delta\ell}, \quad \phi_{4'.5}' = \frac{\delta_5' - \delta_4'}{\Delta\ell}, \end{aligned} \right\} (13-1) \quad \left. \begin{aligned} \phi_{0'.1}' - \phi_{0.1} &= \frac{(\delta_1' - 0) - (\delta_1 - 0)}{\Delta\ell}, \\ \phi_{1'.2}' - \phi_{1.2} &= \frac{(\delta_2' - \delta_1') - (\delta_2 - \delta_1)}{\Delta\ell}, \\ \phi_{2'.3}' - \phi_{2.3} &= \frac{(\delta_3' - \delta_2') - (\delta_3 - \delta_2)}{\Delta\ell}, \\ \phi_{3'.4}' - \phi_{3.4} &= \frac{(\delta_4' - \delta_3') - (\delta_4 - \delta_3)}{\Delta\ell}, \\ \phi_{4'.5}' - \phi_{4.5} &= \frac{(\delta_5' - \delta_4') - (\delta_5 - \delta_4)}{\Delta\ell}. \end{aligned} \right\} (13-2)$$

(13-1)式に(11-2)式の節点撓みを代入すれば(14)式となり、これに(10)式を代入すれば要素(巾 $\Delta\ell$)の捩れ角を荷重で現すことができる。

$$\left. \begin{aligned} \phi_{0'.1} &= \frac{\delta_1}{\Delta\ell} = \frac{2}{\Delta\ell} \delta_{0'.1}, & \phi_{0'.1}' &= \frac{2}{\Delta\ell} \delta_{0'.1}', \\ \phi_{1.2} &= \frac{\delta_2 - \delta_1}{\Delta\ell} = \frac{2}{\Delta\ell} (-2\delta_{0'.1} + \delta_{1.2}), & \phi_{1'.2}' &= \frac{2}{\Delta\ell} (-2\delta_{0'.1}' + \delta_{1'.2}'), \\ \phi_{2.3} &= \frac{\delta_3 - \delta_2}{\Delta\ell} = \frac{2}{\Delta\ell} (2\delta_{0'.1} - 2\delta_{1.2} + \delta_{2.3}), & \phi_{2'.3}' &= \frac{2}{\Delta\ell} (2\delta_{0'.1}' - 2\delta_{1'.2}' + \delta_{2'.3}'), \\ \phi_{3.4} &= \frac{\delta_4 - \delta_3}{\Delta\ell} = \frac{2}{\Delta\ell} (-2\delta_{0'.1} + 2\delta_{1.2} - 2\delta_{2.3} + \delta_{3.4}), & \phi_{3'.4}' &= \frac{2}{\Delta\ell} (-2\delta_{0'.1}' + 2\delta_{1'.2}' - 2\delta_{2'.3}' + \delta_{3'.4}'), \\ \phi_{4.5} &= \frac{\delta_5 - \delta_4}{\Delta\ell} = \frac{2}{\Delta\ell} (2\delta_{0'.1} - 2\delta_{1.2} + 2\delta_{2.3} - 2\delta_{3.4} + \delta_{4.5}), & \phi_{4'.5}' &= \frac{2}{\Delta\ell} (2\delta_{0'.1}' - 2\delta_{1'.2}' + 2\delta_{2'.3}' - \delta_{3'.4}' + \delta_{4'.5}'). \end{aligned} \right\} \dots (14)$$

2・3 y方向の変形

y方向に細長い単位(巾 $\Delta\ell$)の要素に作用する応力(分担される鉛直荷重)および変形を図4のように現わすこととする。

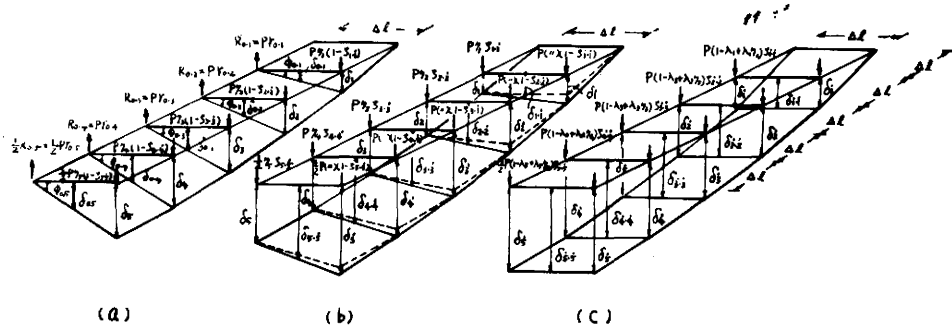


図 4

2・3・1 巾 Δl の要素の鉛直荷重と撓みとの関係式

図4について(2)式を用いて各要素の中央線撓み δ_i を計算すればよい。ここに(2)式中の δ_i および P_i の値を表1に示す。これらの中央線変位を節点変位で現せば、

$$\left. \begin{aligned} \delta_{0.1} &= \frac{\delta_1 + 0}{2}, & \delta_{1.1}' &= \frac{\delta_1 + \delta_1'}{2}, & \delta_{1.1}' &= \delta_1', \\ \delta_{0.2} &= \frac{\delta_2}{2}, & \delta_{2.2}' &= \frac{\delta_2 + \delta_2'}{2}, & \delta_{2.2}' &= \delta_2', \\ \delta_{0.3} &= \frac{\delta_3}{2}, & \delta_{3.3}' &= \frac{\delta_3 + \delta_3'}{2}, & \delta_{3.3}' &= \delta_3', \\ \delta_{0.4} &= \frac{\delta_4}{2}, & \delta_{4.4}' &= \frac{\delta_4 + \delta_4'}{2}, & \delta_{4.4}' &= \delta_4', \\ \delta_{0.5} &= \frac{\delta_5}{2}, & \delta_{5.5}' &= \frac{\delta_5 + \delta_5'}{2}, & \delta_{5.5}' &= \delta_5', \end{aligned} \right\} \dots\dots(15-1)$$

表 1

要素		P_1 (P kg)	P_2 (P kg)	P_3 (P kg)	P_4 (P kg)	P_5 (P kg)
図4(a)	P_i	$\eta_1(1 - \zeta_{1.1}') - r_{0.1}$	$\eta_2(1 - \zeta_{2.2}') - r_{0.2}$	$\eta_3(1 - \zeta_{3.3}') - r_{0.3}$	$\eta_4(1 - \zeta_{4.4}') - r_{0.4}$	$\eta_5(1 - \zeta_{5.5}') = r_{0.5}$
	δ_i	$\delta_{0.1}$	$\delta_{0.2}$	$\delta_{0.3}$	$\delta_{0.4}$	$\delta_{0.5}$
図4(b)	P_i	$(1 - \lambda_1 + \lambda_1\eta_1)(1 - \zeta_{1.1}') + \eta_1\zeta_{1.1}'$	$(1 - \lambda_2 + \lambda_2\eta_2)(1 - \zeta_{2.2}') + \eta_2\zeta_{2.2}'$	$(1 - \lambda_3 + \lambda_3\eta_3)(1 - \zeta_{3.3}') + \eta_3\zeta_{3.3}'$	$(1 - \lambda_4 + \lambda_4\eta_4)(1 - \zeta_{4.4}') + \eta_4\zeta_{4.4}'$	$(1 - \lambda_5 + \lambda_5\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') + \eta_5\zeta_{5.5}'$
	δ_i	$\delta_{1.1}'$	$\delta_{2.2}'$	$\delta_{3.3}'$	$\delta_{4.4}'$	$\delta_{5.5}'$
図4(c)	P_i	$2(1 - \lambda_1 + \lambda_1\eta_1)\zeta_{1.1}'$	$2(1 - \lambda_2 + \lambda_2\eta_2)\zeta_{2.2}'$	$2(1 - \lambda_3 + \lambda_3\eta_3)\zeta_{3.3}'$	$2(1 - \lambda_4 + \lambda_4\eta_4)\zeta_{4.4}'$	$2(1 - \lambda_5 + \lambda_5\eta_5)\zeta_{5.5}'$
	δ_i	$\delta_{1.1}'$	$\delta_{2.2}'$	$\delta_{3.3}'$	$\delta_{4.4}'$	$\delta_{5.5}'$

また逆に節点変位を中央線変位で現せば、

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= 2\delta_{0.1}, & \delta_1' &= 2\delta_{1.1}' - 2\delta_{0.1} = \delta_{1.1}', \\ \delta_2 &= 2\delta_{0.2}, & \delta_2' &= 2\delta_{2.2}' - 2\delta_{0.2} = \delta_{2.2}', \\ \delta_3 &= 2\delta_{0.3}, & \delta_3' &= 2\delta_{3.3}' - 2\delta_{0.3} = \delta_{3.3}', \\ \delta_4 &= 2\delta_{0.4}, & \delta_4' &= 2\delta_{4.4}' - 2\delta_{0.4} = \delta_{4.4}', \\ \delta_5 &= 2\delta_{0.5}, & \delta_5' &= 2\delta_{5.5}' - 2\delta_{0.5} = \delta_{5.5}'. \end{aligned} \right\} \dots\dots(15-2)$$

(15-2)式に表1の値を用いた(2)式を代入すれば、節点変位を荷重で現すことができる。

2・3・2 巾 Δl の要素の鉛直荷重と捩れ角との関係式

図4について(6)式を用いて各点の捩れ角を計算すればよい。ここに(6)式中の $\sum M_{Ti}$ および ϕ_i の値を表2に示す。捩れ角を節点変位で現すには図4より、

表 2

要素		$\sum_1^5 M_{Ti} \left(\frac{P \Delta \ell}{2} \text{ kg cm} \right)$	$\sum_2^5 M_{Ti} \left(\frac{P \Delta \ell}{2} \text{ kg cm} \right)$	$\sum_3^5 M_{Ti} \left(\frac{P \Delta \ell}{2} \text{ kg cm} \right)$	$\sum_4^5 M_{Ti} \left(\frac{P \Delta \ell}{2} \text{ kg cm} \right)$	$M_{T5} \left(\frac{P \Delta \ell}{2} \text{ kg cm} \right)$
図 4 の(a)	ΣM_{Ti}	$\frac{\eta_5(1-\zeta_{5.5}')}{2} + \frac{\gamma_{0.5}}{2}$ $+ \eta_4(1-\zeta_{4.4}') + \gamma_{0.4}$ $+ \eta_3(1-\zeta_{3.3}') + \gamma_{0.3}$ $+ \eta_2(1-\zeta_{2.2}') + \gamma_{0.2}$ $+ \eta_1(1-\zeta_{1.1}') + \gamma_{0.1}$	$\phi_{0.1} +$ $\frac{\eta_5(1-\zeta_{5.5}')}{2} + \frac{\gamma_{0.5}}{2}$ $+ \eta_4(1-\zeta_{4.4}') + \gamma_{0.4}$ $+ \eta_3(1-\zeta_{3.3}') + \gamma_{0.3}$ $+ \eta_2(1-\zeta_{2.2}') + \gamma_{0.2}$	$\phi_{0.2} +$ $\frac{\eta_5(1-\zeta_{5.5}')}{2} + \frac{\gamma_{0.5}}{2}$ $+ \eta_4(1-\zeta_{4.4}') + \gamma_{0.4}$ $+ \eta_3(1-\zeta_{3.3}') + \gamma_{0.3}$	$\phi_{0.3} +$ $\frac{\eta_5(1-\zeta_{5.5}')}{2} + \frac{\gamma_{0.5}}{2}$ $+ \eta_4(1-\zeta_{4.4}') + \gamma_{0.4}$	$\phi_{0.4} +$ $\frac{\eta_5(1-\zeta_{5.5}')}{2} + \frac{\gamma_{0.5}}{2}$
	ϕ_i	$\phi_{0.1}$	$\phi_{0.2}$	$\phi_{0.3}$	$\phi_{0.4}$	$\phi_{0.5}$
図 4 の(b)	ΣM_{Ti}	$\frac{(1-\lambda_1+\lambda_1\eta_1) \times (1-\zeta_{1.1}') - \eta_1\zeta_{1.1}'}{2}$ $\frac{(1-\lambda_2+\lambda_2\eta_2) \times (1-\zeta_{2.2}') - \eta_2\zeta_{2.2}'}{2}$ $\frac{(1-\lambda_3+\lambda_3\eta_3) \times (1-\zeta_{3.3}') - \eta_3\zeta_{3.3}'}{2}$ $\frac{(1-\lambda_4+\lambda_4\eta_4) \times (1-\zeta_{4.4}') - \eta_4\zeta_{4.4}'}{2}$ $\frac{(1-\lambda_5+\lambda_5\eta_5) \times (1-\zeta_{5.5}') - \eta_5\zeta_{5.5}'}{2}$	$\phi_{1.1'} +$ $\frac{(1-\lambda_2+\lambda_2\eta_2) \times (1-\zeta_{2.2}') - \eta_2\zeta_{2.2}'}{2}$ $\frac{(1-\lambda_3+\lambda_3\eta_3) \times (1-\zeta_{3.3}') - \eta_3\zeta_{3.3}'}{2}$ $\frac{(1-\lambda_4+\lambda_4\eta_4) \times (1-\zeta_{4.4}') - \eta_4\zeta_{4.4}'}{2}$ $\frac{(1-\lambda_5+\lambda_5\eta_5) \times (1-\zeta_{5.5}') - \eta_5\zeta_{5.5}'}{2}$	$\phi_{2.2'} +$ $\frac{(1-\lambda_3+\lambda_3\eta_3) \times (1-\zeta_{3.3}') - \eta_3\zeta_{3.3}'}{2}$ $\frac{(1-\lambda_4+\lambda_4\eta_4) \times (1-\zeta_{4.4}') - \eta_4\zeta_{4.4}'}{2}$ $\frac{(1-\lambda_5+\lambda_5\eta_5) \times (1-\zeta_{5.5}') - \eta_5\zeta_{5.5}'}{2}$	$\phi_{3.3'} +$ $\frac{(1-\lambda_4+\lambda_4\eta_4) \times (1-\zeta_{4.4}') - \eta_4\zeta_{4.4}'}{2}$ $\frac{(1-\lambda_5+\lambda_5\eta_5) \times (1-\zeta_{5.5}') - \eta_5\zeta_{5.5}'}{2}$	$\phi_{4.4'} +$ $\frac{(1-\lambda_5+\lambda_5\eta_5) \times (1-\zeta_{5.5}') - \eta_5\zeta_{5.5}'}{2}$
	ϕ_i	$\phi_{1.1'}$	$\phi_{2.2'}$	$\phi_{3.3'}$	$\phi_{4.4'}$	$\phi_{5.5'}$
図 4 の(c)	ΣM_T	0	0	0	0	0
	ϕ_i	$\phi_{1.1'}$	$\phi_{2.2'}$	$\phi_{3.3'}$	$\phi_{4.4'}$	$\phi_{5.5'}$

$$\left. \begin{aligned}
 \phi_{0.1} &= \frac{\delta_1}{\Delta \ell}, \quad \phi_{1.1'} = \frac{\delta_{1'} - \delta_1}{\Delta \ell}, \\
 \phi_{0.2} &= \frac{\delta_2}{\Delta \ell}, \quad \phi_{2.2'} = \frac{\delta_{2'} - \delta_2}{\Delta \ell}, \\
 \phi_{0.3} &= \frac{\delta_3}{\Delta \ell}, \quad \phi_{3.3'} = \frac{\delta_{3'} - \delta_3}{\Delta \ell}, \\
 \phi_{0.4} &= \frac{\delta_4}{\Delta \ell}, \quad \phi_{4.4'} = \frac{\delta_{4'} - \delta_4}{\Delta \ell}, \\
 \phi_{0.5} &= \frac{\delta_5}{\Delta \ell}, \quad \phi_{5.5'} = \frac{\delta_{5'} - \delta_5}{\Delta \ell}.
 \end{aligned} \right\} (16-1)$$

$$\left. \begin{aligned}
 (\phi_{0.5} - \phi_{0.4}) \Delta \ell &= \delta_5 - \delta_4, \\
 (\phi_{0.4} - \phi_{0.3}) \Delta \ell &= \delta_4 - \delta_3, \\
 (\phi_{0.3} - \phi_{0.2}) \Delta \ell &= \delta_3 - \delta_2, \\
 (\phi_{0.2} - \phi_{0.1}) \Delta \ell &= \delta_2 - \delta_1, \\
 \phi_{0.1} \Delta \ell &= \delta_1, \\
 (\phi_{5.5'} - \phi_{4.4'}) \Delta \ell &= \delta_{5'} - \delta_{4'} - \delta_5 + \delta_4, \\
 (\phi_{4.4'} - \phi_{3.3'}) \Delta \ell &= \delta_{4'} - \delta_{3'} - \delta_4 + \delta_3, \\
 (\phi_{3.3'} - \phi_{2.2'}) \Delta \ell &= \delta_{3'} - \delta_{2'} - \delta_3 + \delta_2, \\
 (\phi_{2.2'} - \phi_{1.1'}) \Delta \ell &= \delta_{2'} - \delta_{1'} - \delta_2 + \delta_1, \\
 \phi_{H'} \Delta \ell &= \delta_{1'} - \delta_1.
 \end{aligned} \right\} (16-2)$$

(16-1 式) に (15-2 式) を代入すれば (17 式) となり、これに表 1 を用いた (2) 式を代入すれば、要素の捩れ角を荷重で現すことができる。

$$\left. \begin{aligned}
 \phi_{0.1} &= \frac{2\delta_{0.1}}{\Delta \ell}, \quad \phi_{1.1'} = \frac{2}{\Delta \ell} (\delta_{1.1'} - 2\delta_{0.1}), \\
 \phi_{0.2} &= \frac{2\delta_{0.2}}{\Delta \ell}, \quad \phi_{2.2'} = \frac{2}{\Delta \ell} (\delta_{2.2'} - 2\delta_{0.2}), \\
 \phi_{0.3} &= \frac{2\delta_{0.3}}{\Delta \ell}, \quad \phi_{3.3'} = \frac{2}{\Delta \ell} (\delta_{3.3'} - 2\delta_{0.3}), \\
 \phi_{0.4} &= \frac{2\delta_{0.4}}{\Delta \ell}, \quad \phi_{4.4'} = \frac{2}{\Delta \ell} (\delta_{4.4'} - 2\delta_{0.4}), \\
 \phi_{0.5} &= \frac{2\delta_{0.5}}{\Delta \ell}, \quad \phi_{5.5'} = \frac{2}{\Delta \ell} (\delta_{5.5'} - 2\delta_{0.5}).
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

2.5 支持力

図5(a)のごとく軟節板の $\frac{1}{4}$ を取出して周辺各支持点の反力を釣合条件から求めれば(18)式となる。

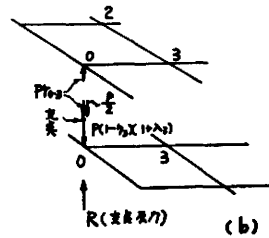
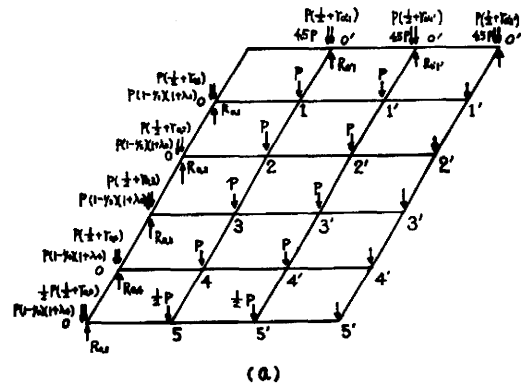


图 5

$$\left. \begin{aligned} R_{0'.1} &= (0.5 + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \frac{1}{2} \eta_5 - r_{0'.1}) P, \\ R_{0.0'} &= (r_{0.1} + r_{0.2} + r_{0.3} + r_{0.4} + \frac{1}{2} r_{0.5} + r_{0'.1} + r_{0'.1'} + 0.25) P, \\ R_{0'.1'} &= \{5, 0 - (1 - \eta_1) \lambda_1 - (1 - \eta_2) \lambda_2 - (1 - \eta_3) \lambda_3 - (1 - \eta_4) \lambda_4 - \frac{1}{2} (1 - \eta_5) \lambda_5 - r_{0'.1'}\} P, \\ R_{0.1} &= P(1 - \eta_1)(1 + \lambda_1) + P\left(\frac{1}{2} - r_{0.1}\right) = P\{(1 - \eta_1)(1 + \lambda_1) + \frac{1}{2} - r_{0.1}\}, \\ R_{0.2} &= P(1 - \eta_2)(1 + \lambda_2) + P\left(\frac{1}{2} - r_{0.2}\right) = P\{(1 - \eta_2)(1 + \lambda_2) + \frac{1}{2} - r_{0.2}\}, \\ R_{0.3} &= P(1 - \eta_3)(1 + \lambda_3) + P\left(\frac{1}{2} - r_{0.3}\right) = P\{(1 - \eta_3)(1 + \lambda_3) + \frac{1}{2} - r_{0.3}\}, \\ R_{0.4} &= P(1 - \eta_4)(1 + \lambda_4) + P\left(\frac{1}{2} - r_{0.4}\right) = P\{(1 - \eta_4)(1 + \lambda_4) + \frac{1}{2} - r_{0.4}\}, \\ R_{0.5} &= \frac{P}{2} (1 - \eta_5)(1 + \lambda_5) + P\left(\frac{1}{2} - r_{0.5}\right) = \frac{P}{2} \{(1 - \eta_5)(1 + \lambda_5) + \frac{1}{2} - r_{0.5}\}. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

3 略算式の誘導

「x方向の変形と荷重」の各式における節点撓みと、「y方向の変形と荷重」の各式における節点撓みとをそれぞれ等しくすることによって方程式を解くことができるが、これは極めてはん雑となりがちなので軟節単純梁・弾性単純梁・周辺支持の軟節板および周辺支持の弾性板についての計算値および実験値から推定できる仮定を設けて略算式を誘導することとする。

3・1 μ および λ の仮定

周辺支持の弾性板の計算値および実験値ならびに周辺支持の軟節板の実験値を図6に示す。これによれば y が $0.5ly$ のところの μ の値に対する y が $0.1ly$ のところの μ の値の誤差は次のようである。

周辺支持の弾性板 (計算値)	1.0%	}(19)
〃 (実験値)	2.5%		
〃 軟節板 (実験値)	2.6%		

このことから $2 \sim 2' \rightarrow 5 \sim 5'$ 間は μ の値を一定 (従って λ が一定) と考えればよく, $1 \sim 1'$ では 0.95μ (従っ

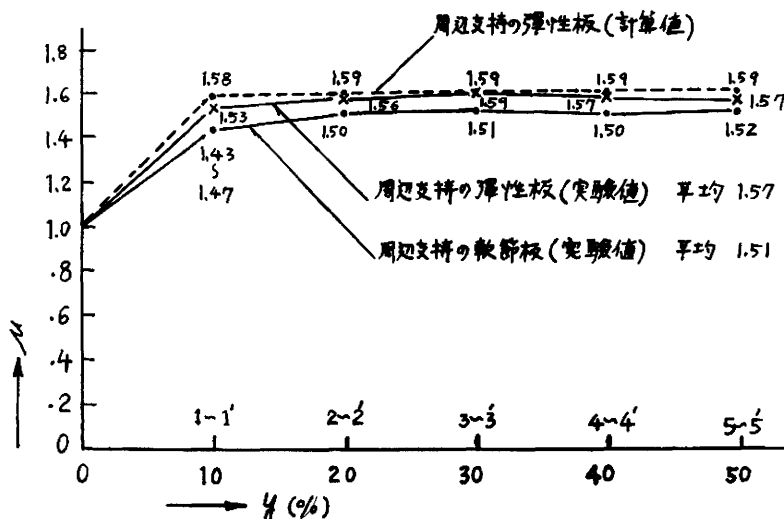


図 6

て 0.51λ と考えることができる。

即ち(1)式の仮定が成立し、従って x 方向の単位巾の中央線撓みの μ の値は節点撓みの μ の値に等しい。図 7 (a)における μ と λ との関係は(7)式から(20)式となり、これを(b)および(c)図に示す。

$$\lambda = \frac{3 - 2\mu}{3\mu - 5} \quad \dots\dots(20)$$

これを吟味すれば

$$\left. \begin{aligned} \frac{5}{3} > \mu > 1.5 &\dots\dots \lambda > 0, \\ 1.5 > \mu > \frac{5}{3} &\dots\dots \lambda < 0, \\ \mu \rightarrow \infty &\dots\dots \lambda = -\frac{2}{3}, \\ \mu = 1.5 &\dots\dots \lambda = 0, \\ \mu = \frac{5}{3} &\dots\dots \lambda \rightarrow \infty, \\ \mu = 1.0 &\dots\dots \lambda = -0.5, \\ \mu = 1.6 &\dots\dots \lambda = 1. \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(21)$$

また実験値から、(但し $\mu \geq 1$ の場合を考える)

$$\left. \begin{aligned} \mu = 1.43 &\dots\dots \lambda = -0.197, \\ \mu = 1.52 &\dots\dots \lambda = 0.091, \\ \mu = 1.59 &\dots\dots \lambda = 0.78. \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(22)$$

(21)式と(22)式より、

$$\frac{5}{3} > \mu > 1.43 \quad \dots\dots(23-1)$$

と見做せば、 μ および λ は次の範囲にある。

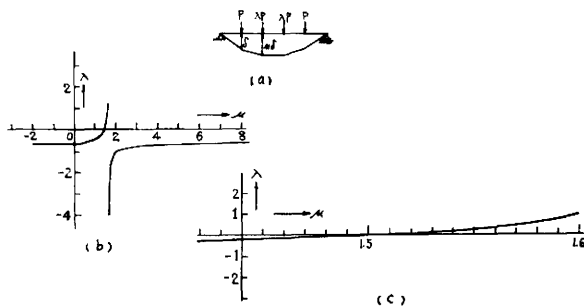


図 7

$$\left. \begin{aligned} 1.5 > \mu > 1.4 \cdots \cdots 0 > \lambda > -0.197, \\ \mu = 1.5 \quad \cdots \cdots \lambda = 0, \\ \frac{5}{3} > \mu > 1.5 \quad \cdots \cdots \infty > \lambda > 0. \end{aligned} \right\} \quad (23-2)$$

即ち μ の値は (23-1) 式の範囲にあるものと見做すことができる。

従って μ を全Spanについて一定とすれば λ も一定となり、(10)式から次式を導き得る。

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{\lambda} r_{0'.1}' - r_{0'.1}' + (1 - \eta_1)(\zeta_{1'.2}' - \zeta_{1.2}) &= 0, \\ (1 - \eta_1)(\zeta_{1.2} - \zeta_{1'.2}') + (1 - \eta_2)(\zeta_{2'.3}' - \zeta_{2.3}) &= 0, \\ (1 - \eta_2)(\zeta_{2.3} - \zeta_{2'.3}') + (1 - \eta_3)(\zeta_{3'.4}' - \zeta_{3.4}) &= 0, \\ (1 - \eta_3)(\zeta_{3.4} - \zeta_{3'.4}') + (1 - \eta_4)(\zeta_{4'.5}' - \zeta_{4.5}) &= 0, \\ (1 - \eta_4)(\zeta_{4.5} - \zeta_{4'.5}') + (1 - \eta_5)(\zeta_{5'.4}' - \zeta_{5.4}) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad \cdots \cdots (24-1)$$

(24-1) 式より 24-2 式となり、

$$\left. \begin{aligned} \frac{r_{0'.1}'}{\lambda} - r_{0'.1}' + (1 - \eta_5)(\zeta_{5'.4}' - \zeta_{5.4}) &= 0, \\ \frac{r_{0'.1}'}{\lambda} - r_{0'.1}' + (1 - \eta_4)(\zeta_{4'.5}' - \zeta_{4.5}) &= 0, \\ \frac{r_{0'.1}'}{\lambda} - r_{0'.1}' + (1 - \eta_3)(\zeta_{3'.4}' - \zeta_{3.4}) &= 0, \\ \frac{r_{0'.1}'}{\lambda} - r_{0'.1}' + (1 - \eta_2)(\zeta_{2'.3}' - \zeta_{2.3}) &= 0, \\ \frac{r_{0'.1}'}{\lambda} - r_{0'.1}' + (1 - \eta_1)(\zeta_{1'.2}' - \zeta_{1.2}) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad \cdots \cdots (24-2)$$

また、対称の条件から、

$$\zeta_{5'.4}' = \zeta_{5.4} = 0.5 \cdots \cdots (25)$$

(25)式と (24-2) 式より、(26)式が成立する。

$$\zeta_{1'.2}' = \zeta_{1.2}, \quad \zeta_{2'.3}' = \zeta_{2.3}, \quad \zeta_{3'.4}' = \zeta_{3.4}, \quad \zeta_{4'.5}' = \zeta_{4.5}, \quad r_{0'.1}' = \lambda r_{0'.1}. \quad \cdots \cdots (26)$$

即ち μ を一定とすれば λ も一定となり、(25)式および(26)式の関係ができる。

3・2・1 x 方向の軟節剛材鎖の撓みの一般式

(10)式に(25)式および(26)式を代入すれば巾 $\Delta \ell$ の要素についての鉛直荷重と中心線撓みとの関係式を得られる。

$$\left. \begin{aligned} \delta_{0'.1} &= \{-r_{0'.1}' + (1 - \eta_1)(1 - \zeta_{1.2})\} (2 + 3\lambda) \frac{p \Delta \ell^2}{S}, \\ \delta_{1.2} &= \{(1 - \eta_1)\zeta_{1.2} + (1 - \eta_2)(1 - \zeta_{2.3})\} (2 + 3\lambda) \frac{p \Delta \ell^2}{S}, \\ \delta_{2.3} &= \{(1 - \eta_2)\zeta_{2.3} + (1 - \eta_3)(1 - \zeta_{3.4})\} (2 + 3\lambda) \frac{p \Delta \ell^2}{S}, \\ \delta_{3.4} &= \{(1 - \eta_3)\zeta_{3.4} + (1 - \eta_4)(1 - \zeta_{4.5})\} (2 + 3\lambda) \frac{p \Delta \ell^2}{S}, \\ \delta_{4.5} &= \{(1 - \eta_4)\zeta_{4.5} + (1 - \eta_5)(1 - \zeta_{5.4})\} (2 + 3\lambda) \frac{p \Delta \ell^2}{S}, \\ \delta_{0'.1}' &= \{-r_{0'.1}' + (1 - \eta_1)(1 - \zeta_{1.2})\} (3 + 5\lambda) \frac{p \Delta \ell^2}{S}, \\ \delta_{1'.2}' &= \{(1 - \eta_1)\zeta_{1.2} + (1 - \eta_2)(1 - \zeta_{2.3})\} (3 + 5\lambda) \frac{p \Delta \ell^2}{S}, \\ \delta_{2'.3}' &= \{(1 - \eta_2)\zeta_{2.3} + (1 - \eta_3)(1 - \zeta_{3.4})\} (3 + 5\lambda) \frac{p \Delta \ell^2}{S}, \\ \delta_{3'.4}' &= \{(1 - \eta_3)\zeta_{3.4} + (1 - \eta_4)(1 - \zeta_{4.5})\} (3 + 5\lambda) \frac{p \Delta \ell^2}{S}, \\ \delta_{4'.5}' &= \{(1 - \eta_4)\zeta_{4.5} + (1 - \eta_5)(1 - \zeta_{5.4})\} (3 + 5\lambda) \frac{p \Delta \ell^2}{S}. \end{aligned} \right\} \quad \cdots \cdots (27)$$

(27)式および (11-2) 式を用いて(28)式を得る。

$$\left. \begin{aligned}
\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \frac{\delta_5}{2} &= \{-r'_{0.1} + 5 - (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5) - (1 - \eta_5)\zeta_{5.4}\} (2 + 3\lambda) \frac{p\Delta \ell^2}{S}, \\
\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \frac{\delta_4}{2} &= \{-r'_{0.1} + 4 - (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4) - (1 - \eta_4)\zeta_{4.5}\} (2 + 3\lambda) \frac{p\Delta \ell^2}{S}, \\
\delta_1 + \delta_2 + \frac{\delta_3}{2} &= \{-r'_{0.1} + 3 - (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3) - (1 - \eta_3)\zeta_{3.4}\} (2 + 3\lambda) \frac{p\Delta \ell^2}{S}, \\
\delta_1 + \frac{\delta_2}{2} &= \{-r'_{0.1} + 2 - (\eta_1 + \eta_2) - (1 - \eta_2)\zeta_{2.3}\} (2 + 3\lambda) \frac{p\Delta \ell^2}{S}, \\
\frac{\delta_1}{2} &= \{-r'_{0.1} + 1 - \eta_1 - (1 - \eta_1)\zeta_{1.2}\} (2 + 3\lambda) \frac{p\Delta \ell^2}{S}.
\end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28-a)$$

$$\left. \begin{aligned}
\delta'_1 + \delta'_2 + \delta'_3 + \delta'_4 + \frac{\delta'_5}{2} &= \{-r'_{0.1} + 5 - (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5) - (1 - \eta_5)\zeta_{5.4}\} (3 + 5\lambda) \frac{p\Delta \ell^2}{S}, \\
\delta'_1 + \delta'_2 + \delta'_3 + \frac{\delta'_4}{2} &= \{-r'_{0.1} + 4 - (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4) - (1 - \eta_4)\zeta_{4.5}\} (3 + 5\lambda) \frac{p\Delta \ell^2}{S}, \\
\delta'_1 + \delta'_2 + \frac{\delta'_3}{2} &= \{-r'_{0.1} + 3 - (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3) - (1 - \eta_3)\zeta_{3.4}\} (3 + 5\lambda) \frac{p\Delta \ell^2}{S}, \\
\delta'_1 + \frac{\delta'_2}{2} &= \{-r'_{0.1} + 2 - (\eta_1 + \eta_2) - (1 - \eta_2)\zeta_{2.3}\} (2 + 3\lambda) \frac{p\Delta \ell^2}{S}, \\
\frac{\delta'_1}{2} &= \{-r'_{0.1} + 1 - \eta_1 - (1 - \eta_1)\zeta_{1.2}\} (2 + 3\lambda) \frac{p\Delta \ell^2}{S}.
\end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28-b)$$

3・2・2 x 方向の軟節剛材鎖の振れ角の一般式

(12式)に(8式)および(26式)を代入すれば、巾 $\Delta \ell$ の要素についての鉛直荷重と振れ角との関係式を得られる。

$$\left. \begin{aligned}
\phi'_{0.1} &= \{(1 - \eta_1)(1 - \zeta_{1.2}) + r'_{0.1}\} (1 + \lambda) \frac{3p\Delta \ell}{2t^3G_R}, \\
\phi_{1.2} &= \{(1 - \eta_2)(1 - \zeta_{2.3}) - (1 - \eta_1)\zeta_{1.2}\} (1 + \lambda) \frac{3p\Delta \ell}{2t^3G_R}, \\
\phi_{2.3} &= \{(1 - \eta_3)(1 - \zeta_{3.4}) - (1 - \eta_2)\zeta_{2.3}\} (1 + \lambda) \frac{3p\Delta \ell}{2t^3G_R}, \\
\phi_{3.4} &= \{(1 - \eta_4)(1 - \zeta_{4.5}) - (1 - \eta_3)\zeta_{3.4}\} (1 + \lambda) \frac{3p\Delta \ell}{2t^3G_R}, \\
\phi_{4.5} &= \{(1 - \eta_5)(1 - \zeta_{5.4}) - (1 - \eta_4)\zeta_{4.5}\} (1 + \lambda) \frac{3p\Delta \ell}{2t^3G_R}, \\
\phi'_{0.1'} &= \{(1 - \eta_1)(1 - \zeta_{1.2}) + r'_{0.1}\} (1 + 2\lambda) \frac{3p\Delta \ell}{2t^3G_R}, \\
\phi'_{1.2'} &= \{(1 - \eta_2)(1 - \zeta_{2.3}) - (1 - \eta_1)\zeta_{1.2}\} (1 + 2\lambda) \frac{3p\Delta \ell}{2t^3G_R}, \\
\phi'_{2.3'} &= \{(1 - \eta_3)(1 - \zeta_{3.4}) - (1 - \eta_2)\zeta_{2.3}\} (1 + 2\lambda) \frac{3p\Delta \ell}{2t^3G_R}, \\
\phi'_{3.4'} &= \{(1 - \eta_4)(1 - \zeta_{4.5}) - (1 - \eta_3)\zeta_{3.4}\} (1 + 2\lambda) \frac{3p\Delta \ell}{2t^3G_R}, \\
\phi'_{4.5'} &= \{(1 - \eta_5)(1 - \zeta_{5.4}) - (1 - \eta_4)\zeta_{4.5}\} (1 + 2\lambda) \frac{3p\Delta \ell}{2t^3G_R}.
\end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (29)$$

(29式)および(12-2)式を用い(30式)を得る。

$$\left. \begin{aligned}
\delta_5 - 2\delta_4 + 2\delta_3 - 2\delta_2 + 2\delta_1 &= \{r'_{0.1} + 1 - \eta_1 + \eta_2 - \eta_3 + \eta_4 - \eta_5 - (1 - \eta_5)\zeta_{5.4}\} \frac{3(1 + \lambda)}{2} \frac{p\Delta \ell^2}{t^3G_R}, \\
\delta_4 - 2\delta_3 + 2\delta_2 - 2\delta_1 &= \{-r'_{0.1} + \eta_1 - \eta_2 + \eta_3 - \eta_4 - (1 - \eta_4)\zeta_{4.5}\} \frac{3(1 + \lambda)}{2} \frac{p\Delta \ell^2}{t^3G_R}, \\
\delta_3 - 2\delta_2 + 2\delta_1 &= \{r'_{0.1} + 1 - \eta_1 + \eta_2 - \eta_3 - (1 - \eta_3)\zeta_{3.4}\} \frac{3(1 + \lambda)}{2} \frac{p\Delta \ell^2}{t^3G_R},
\end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_2 - 2\delta_1 &= \{-r'_{0.1} + \eta_1 - \eta_2 - (1 - \eta_2)\zeta_{2.8}\} \frac{3(1+\lambda)}{2} \frac{p \Delta \ell^2}{t^3 G_R}, \\ \delta_1 &= \{r'_{0.1} + 1 - \eta_1 - (1 - \eta_1)\zeta_{1.2}\} \frac{3(1+\lambda)}{2} \frac{p \Delta \ell^2}{t^3 G_R}. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(30-a)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta'_5 - 2\delta'_4 + 2\delta'_3 - 2\delta'_2 + 2\delta'_1 &= \{r'_{0.1} + 1 - \eta_1 + \eta_2 - \eta_3 + \eta_4 - \eta_5 - (1 - \eta_5)\zeta_{5.4}\} \frac{3(1+2\lambda)}{2} \frac{p \Delta \ell^2}{t^3 G_R}, \\ \delta'_4 - 2\delta'_3 + 2\delta'_2 - 2\delta'_1 &= \{-r'_{0.1} + \eta_1 - \eta_2 + \eta_3 - \eta_4 - (1 - \eta_4)\zeta_{4.8}\} \frac{3(1+2\lambda)}{2} \frac{p \Delta \ell^2}{t^3 G_R}, \\ \delta'_3 - 2\delta'_2 + 2\delta'_1 &= \{r'_{0.1} + 1 - \eta_1 + \eta_2 - \eta_3 - (1 - \eta_3)\zeta_{3.4}\} \frac{3(1+2\lambda)}{2} \frac{p \Delta \ell^2}{t^3 G_R}, \\ \delta'_2 - 2\delta'_1 &= \{-r'_{0.1} + \eta_1 - \eta_2 - (1 - \eta_2)\zeta_{2.8}\} \frac{3(1+2\lambda)}{2} \frac{p \Delta \ell^2}{t^3 G_R}, \\ \delta'_1 &= \{r'_{0.1} + 1 - \eta_1 - (1 - \eta_1)\zeta_{1.2}\} \frac{3(1+2\lambda)}{2} \frac{p \Delta \ell^2}{t^3 G_R}. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(30-b)$$

(28-a)式/(28-b)式および(30-a)式/(30-b)式はそれぞれ(31-a)式および(31-b)式となり、(31-a)式は μ が一定のときの(28)式と一致するが、(31-b)式は一致しない。そこで両者の比をとれば、その値 k は(32)式となり、実用的には $k \approx 1$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{2+3\lambda}{3+5\lambda} \dots\dots\dots(31-a)$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1+\lambda}{1+2\lambda} \dots\dots\dots(31-b)$$

$$k = \frac{(2+3\lambda)(1+2\lambda)}{(3+5\lambda)(1+\lambda)} \dots\dots\dots(32)$$

$$\left(\begin{array}{ll} \lambda=1.40 \text{ の時} & k=0.9816 \\ \lambda=1.618 \text{ の時} & k=0.9999 \end{array} \right.$$

と見做せるので(28-a)式および(30-a)式を代表して採用することとする。

3.3.1 y 方向の単純梁の撓みの一般式

表1を用いた(2)式に λ を一定として(28)式を代入すれば、巾 $\Delta \ell$ の要素についての、鉛直荷重と中心線撓みとの関係式が得られる。これらの式に(15-1)式を用いて、(2-2a)、(2-2b)および(2-2c)式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= (26A_1 + 47A_2 + 62A_3 + 71A_4 + 37A_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\ \delta_2 &= (47A_1 + 88A_2 + 118A_3 + 136A_4 + 71A_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\ \delta_3 &= (62A_1 + 118A_2 + 162A_3 + 189A_4 + 99A_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\ \delta_4 &= (71A_1 + 136A_2 + 189A_3 + 224A_4 + 118A_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\ \delta_5 &= (74A_1 + 142A_2 + 198A_3 + 236A_4 + 125A_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-2a)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 + \delta'_1 &= (26B_1 + 47B_2 + 62B_3 + 71B_4 + 37B_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\ \delta_2 + \delta'_2 &= (47B_1 + 88B_2 + 118B_3 + 136B_4 + 71B_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\ \delta_3 + \delta'_3 &= (62B_1 + 118B_2 + 162B_3 + 189B_4 + 99B_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\ \delta_4 + \delta'_4 &= (71B_1 + 136B_2 + 189B_3 + 224B_4 + 118B_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\ \delta_5 + \delta'_5 &= (74B_1 + 142B_2 + 189B_3 + 236B_4 + 125B_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-2b)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \delta_1' &= (26C_1 + 47C_2 + 62C_3 + 71C_4 + 37C_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_2' &= (44C_1 + 88C_2 + 118C_3 + 136C_4 + 71C_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_3' &= (62C_1 + 118C_2 + 162C_3 + 189C_4 + 99C_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_4' &= (71C_1 + 136C_2 + 189C_3 + 224C_4 + 118C_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_5' &= (74C_1 + 142C_2 + 198C_3 + 236C_4 + 125C_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}.
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-2c)$$

これを整理して、(2-2b)式+(2-2c)式より、

$$\left. \begin{aligned}
 \delta_1 + 2\delta_1' &= (26D_1 + 47D_2 + 62D_3 + 71D_4 + 37D_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_2 + 2\delta_2' &= (44D_1 + 88D_2 + 118D_3 + 136D_4 + 71D_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_3 + 2\delta_3' &= (62D_1 + 118D_2 + 162D_3 + 189D_4 + 99D_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_4 + 2\delta_4' &= (71D_1 + 136D_2 + 189D_3 + 224D_4 + 118D_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_5 + 2\delta_5' &= (74D_1 + 142D_2 + 198D_3 + 236D_4 + 125D_5) \frac{p \Delta \ell^3}{3EI}.
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-d)$$

(2-2a)式+(2-2b)式+(2-2c)式より、

$$\left. \begin{aligned}
 \delta_1 + \delta_1' &= (26E_1 + 47E_2 + 62E_3 + 71E_4 + 37E_5) \frac{2p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_2 + \delta_2' &= (44E_1 + 88E_2 + 118E_3 + 136E_4 + 71E_5) \frac{2p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_3 + \delta_3' &= (62E_1 + 118E_2 + 162E_3 + 189E_4 + 99E_5) \frac{2p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_4 + \delta_4' &= (71E_1 + 136E_2 + 189E_3 + 224E_4 + 118E_5) \frac{2p \Delta \ell^3}{3EI}, \\
 \delta_5 + \delta_5' &= (74E_1 + 142E_2 + 198E_3 + 236E_4 + 125E_5) \frac{2p \Delta \ell^3}{3EI}.
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-e)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned}
 A_1 &= \eta_1(1 - \zeta_{1,1}') - r_{0,1}, & B_1 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_1)(1 - \zeta_{1,1}'), & C_1 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_1)\zeta_{1,1}', \\
 A_2 &= \eta_2(1 - \zeta_{2,2}') - r_{0,2}, & B_2 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_2)(1 - \zeta_{2,2}'), & C_2 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_2)\zeta_{2,2}', \\
 A_3 &= \eta_3(1 - \zeta_{3,3}') - r_{0,3}, & B_3 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_3)(1 - \zeta_{3,3}'), & C_3 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_3)\zeta_{3,3}', \\
 A_4 &= \eta_4(1 - \zeta_{4,4}') - r_{0,4}, & B_4 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_4)(1 - \zeta_{4,4}'), & C_4 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_4)\zeta_{4,4}', \\
 A_5 &= \eta_5(1 - \zeta_{5,5}') - r_{0,5}, & B_5 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5,5}'), & C_5 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_5)\zeta_{5,5}', \\
 \\
 D_1 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_1) + \eta_1\zeta_{1,1}', & E_1 &= (1 - \lambda + \eta_1 + \lambda\eta_1) - r_{0,1}, \\
 D_2 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_2) + \eta_2\zeta_{2,2}', & E_2 &= (1 - \lambda + \eta_2 + \lambda\eta_2) - r_{0,2}, \\
 D_3 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_3) + \eta_3\zeta_{3,3}', & E_3 &= (1 - \lambda + \eta_3 + \lambda\eta_3) - r_{0,3}, \\
 D_4 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_4) + \eta_4\zeta_{4,4}', & E_4 &= (1 - \lambda + \eta_4 + \lambda\eta_4) - r_{0,4}, \\
 D_5 &= (1 - \lambda + \lambda\eta_5) + \eta_5\zeta_{5,5}', & E_5 &= (1 - \lambda + \eta_5 + \lambda\eta_5) - r_{0,5}.
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (33)$$

3・3・2 y 方向の単純梁の捩れ角の一般式

表2を用いた(6)式に λ を一定として、(28)式を代入すれば、巾 $\Delta \ell$ の要素についての鉛直荷重と捩れ角との関係式を得られる。

$$\begin{aligned}
\phi_{0.1} &= \{\eta_1(1 - \zeta_{1.1}') + \eta_2(1 - \zeta_{2.2}') + \eta_3(1 - \zeta_{3.3}') + \eta_4(1 - \zeta_{4.4}') + \frac{1}{2}\eta_5(1 - \zeta_{5.5}') \\
&\quad + r_{0.1} + r_{0.2} + r_{0.3} + r_{0.4} + \frac{1}{2}r_{0.5}\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{0.2} &= \phi_{0.1} + \{\eta_2(1 - \zeta_{2.2}') + \eta_3(1 - \zeta_{3.3}') + \eta_4(1 - \zeta_{4.4}') + \frac{1}{2}\eta_5(1 - \zeta_{5.5}') \\
&\quad + r_{0.2} + r_{0.3} + r_{0.4} + \frac{1}{2}r_{0.5}\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{0.3} &= \phi_{0.2} + \{\eta_3(1 - \zeta_{3.3}') + \eta_4(1 - \zeta_{4.4}') + \frac{1}{2}\eta_5(1 - \zeta_{5.5}') + r_{0.3} + r_{0.4} + \frac{1}{2}r_{0.5}\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{0.4} &= \phi_{0.3} + \{\eta_4(1 - \zeta_{4.4}') + \frac{1}{2}\eta_5(1 - \zeta_{5.5}') + r_{0.4} + \frac{1}{2}r_{0.5}\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{0.5} &= \phi_{0.4} + \{\frac{1}{2}\eta_5(1 - \zeta_{5.5}') + \frac{1}{2}r_{0.5}\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}. \\
\phi_{1.1}' &= \{(1 - \lambda + \lambda\eta_1)(1 - \zeta_{1.1}') + (1 - \lambda + \lambda\eta_2)(1 - \zeta_{2.2}') + (1 - \lambda + \lambda\eta_3)(1 - \zeta_{3.3}') \\
&\quad + (1 - \lambda + \lambda\eta_4)(1 - \zeta_{4.4}') + \frac{1}{2}(1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') - \eta_1\zeta_{1.1}' - \eta_2\zeta_{2.2}' - \eta_3\zeta_{3.3}' \\
&\quad - \eta_4\zeta_{4.4}' - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{1.2}' &= \phi_{1.1}' + \{(1 - \lambda + \lambda\eta_2)(1 - \zeta_{2.2}') + (1 - \lambda + \lambda\eta_3)(1 - \zeta_{3.3}') + (1 - \lambda + \lambda\eta_4) \times \\
&\quad (1 - \zeta_{4.4}') + \frac{1}{2}(1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') - \eta_2\zeta_{2.2}' - \eta_3\zeta_{3.3}' - \eta_4\zeta_{4.4}' - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{1.3}' &= \phi_{1.2}' + \{(1 - \lambda + \lambda\eta_3)(1 - \zeta_{3.3}') + (1 - \lambda + \lambda\eta_4)(1 - \zeta_{4.4}') \\
&\quad + (1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') - \eta_3\zeta_{3.3}' - \eta_4\zeta_{4.4}' - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{1.4}' &= \phi_{1.3}' + \{(1 - \lambda + \lambda\eta_4)(1 - \zeta_{4.4}') + \frac{1}{2}(1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') \\
&\quad - \eta_4\zeta_{4.4}' - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{1.5}' &= \phi_{1.4}' + \{\frac{1}{2}(1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}.
\end{aligned}
\tag{6-2a}$$

$$\begin{aligned}
\phi_{2.1}' &= \{(1 - \lambda + \lambda\eta_1)(1 - \zeta_{1.1}') + (1 - \lambda + \lambda\eta_2)(1 - \zeta_{2.2}') + (1 - \lambda + \lambda\eta_3)(1 - \zeta_{3.3}') \\
&\quad + (1 - \lambda + \lambda\eta_4)(1 - \zeta_{4.4}') + \frac{1}{2}(1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') - \eta_1\zeta_{1.1}' - \eta_2\zeta_{2.2}' - \eta_3\zeta_{3.3}' \\
&\quad - \eta_4\zeta_{4.4}' - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{2.2}' &= \phi_{2.1}' + \{(1 - \lambda + \lambda\eta_2)(1 - \zeta_{2.2}') + (1 - \lambda + \lambda\eta_3)(1 - \zeta_{3.3}') + (1 - \lambda + \lambda\eta_4) \times \\
&\quad (1 - \zeta_{4.4}') + \frac{1}{2}(1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') - \eta_2\zeta_{2.2}' - \eta_3\zeta_{3.3}' - \eta_4\zeta_{4.4}' - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{2.3}' &= \phi_{2.2}' + \{(1 - \lambda + \lambda\eta_3)(1 - \zeta_{3.3}') + (1 - \lambda + \lambda\eta_4)(1 - \zeta_{4.4}') \\
&\quad + (1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') - \eta_3\zeta_{3.3}' - \eta_4\zeta_{4.4}' - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{2.4}' &= \phi_{2.3}' + \{(1 - \lambda + \lambda\eta_4)(1 - \zeta_{4.4}') + \frac{1}{2}(1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') \\
&\quad - \eta_4\zeta_{4.4}' - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}, \\
\phi_{2.5}' &= \phi_{2.4}' + \{\frac{1}{2}(1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell}{2t^3G}.
\end{aligned}
\tag{6-2b}$$

(6-2a)式と(16-1)式および(6-2b)式と(16-2)式とからそれぞれ(34-a)式および(34-b)式となる。

$$\begin{aligned}
2\delta_1 - \delta_2 &= \{\eta_1(1 - \zeta_{1.1}') + r_{0.1}\} \frac{3p\Delta\ell^2}{2t^3G}, \\
-\delta_1 + 2\delta_2 - \delta_3 &= \{\eta_2(1 - \zeta_{2.2}') + r_{0.2}\} \frac{3p\Delta\ell^2}{2t^3G}, \\
-\delta_2 + 2\delta_3 - \delta_4 &= \{\eta_3(1 - \zeta_{3.3}') + r_{0.3}\} \frac{3p\Delta\ell^2}{2t^3G}, \\
-\delta_3 + 2\delta_4 - \delta_5 &= \{\eta_4(1 - \zeta_{4.4}') + r_{0.4}\} \frac{3p\Delta\ell^2}{2t^3G}, \\
\delta_5 - \delta_4 &= \{\frac{1}{2}\eta_5(1 - \zeta_{5.5}') + \frac{1}{2}r_{0.5}\} \frac{3p\Delta\ell^2}{2t^3G}.
\end{aligned}
\tag{34-a}$$

$$\begin{aligned}
2\delta_1' - 2\delta_1 - \delta_2' + \delta_2 &= \{(1 - \lambda + \lambda\eta_1)(1 - \zeta_{1.1}') - \eta_1\zeta_{1.1}'\} \frac{3p\Delta\ell^2}{2t^3G}, \\
-\delta_1' + \delta_1 + 2\delta_2' - 2\delta_2 - \delta_3' + \delta_3 &= \{(1 - \lambda + \lambda\eta_2)(1 - \zeta_{2.2}') - \eta_2\zeta_{2.2}'\} \frac{3p\Delta\ell^2}{2t^3G}, \\
-\delta_2' + \delta_2 + 2\delta_3' - 2\delta_3 - \delta_4' + \delta_4 &= \{(1 - \lambda + \lambda\eta_3)(1 - \zeta_{3.3}') - \eta_3\zeta_{3.3}'\} \frac{3p\Delta\ell^2}{2t^3G}, \\
-\delta_3' + \delta_3 + 2\delta_4' - 2\delta_4 - \delta_5' + \delta_5 &= \{(1 - \lambda + \lambda\eta_4)(1 - \zeta_{4.4}') - \eta_4\zeta_{4.4}'\} \frac{3p\Delta\ell^2}{2t^3G}, \\
\delta_5' - \delta_5 - \delta_4' + \delta_4 &= \{\frac{1}{2}(1 - \lambda + \lambda\eta_5)(1 - \zeta_{5.5}') - \frac{1}{2}\eta_5\zeta_{5.5}'\} \frac{3p\Delta\ell^2}{2t^3G}.
\end{aligned}
\tag{34-b}$$

3.4 λ の 値

図3の捩れ角と撓みとの関係を(13-1)式より求め、これらに(11-2)式を用いれば(35)式となる。

$$\left. \begin{aligned} \triangle \ell(\phi'_{0.1} + \phi_{1.2} + \phi_{2.3} + \phi_{3.4} + \phi_{4.5}) &= \delta_5 = 2(\delta'_{0.1} - \delta_{1.2} + \delta_{2.3} - \delta_{3.4} + \delta_{4.5}), \\ \triangle \ell(\phi'_{0.1} + \phi'_{1.2} + \phi'_{2.3} + \phi'_{3.4} + \phi'_{4.5}) &= \delta'_5 = 2(\delta'_{0.1} - \delta'_{1.2} + \delta'_{2.3} - \delta'_{3.4} + \delta'_{4.5}). \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(35)$$

(35)式に(27)式および(29)式を代入すれば,

$$\begin{aligned} r'_{0.1} &= \frac{1}{1+\nu} \{ \nu - 5 + \eta_1(1-\nu) + \eta_2(1+\nu) + \eta_3(1-\nu) + \eta_4(1+\nu) + \eta_5(1-\nu) + 2(1-\nu)(1-\eta_1)\zeta_{1.2} \\ &\quad + 2(1+\nu)(1-\eta_2)\zeta_{2.3} + 2(1-\nu)(1-\eta_3)\zeta_{3.4} + 2(1+\nu)(1-\eta_4)\zeta_{4.5} + (1-\nu)(1-\eta_5)\zeta_{5.4} \} \\ \text{or } &= \frac{1}{1+\nu} \{ \nu - 5 + \eta_1(1-\nu) + \eta_2(1+\nu) + \eta_3(1-\nu) + \eta_4(1+\nu) + \eta_5(1-\nu) + 2(1-\nu)(1-\eta_1)\zeta_{1.2} \\ &\quad + 2(1+\nu)(1-\eta_2)\zeta_{2.3} + 2(1-\nu)(1-\eta_3)\zeta_{3.4} + 2(1+\nu)(1-\eta_4)\zeta_{4.5} + (1-\nu)(1-\eta_5)\zeta_{5.4} \} \end{aligned} \dots\dots\dots(36)$$

今(25)式と(26)式中の ζ を総て0.5と仮定すれば,

$$\left. \begin{aligned} \frac{1-\nu}{1+\nu} &= \frac{1-\nu'}{1+\nu'}, \\ \text{ここに, } \nu &= \frac{2(2+3\lambda)}{3(1+\lambda)} \frac{t^3 G_R}{S}, \quad \nu' = \frac{2(3+5\lambda)}{3(1+2\lambda)} \frac{t^3 G_R}{S}, \\ r'_{0.1} &= \frac{(1-\nu)}{2(1+\nu)} (1-\eta_5). \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(37)$$

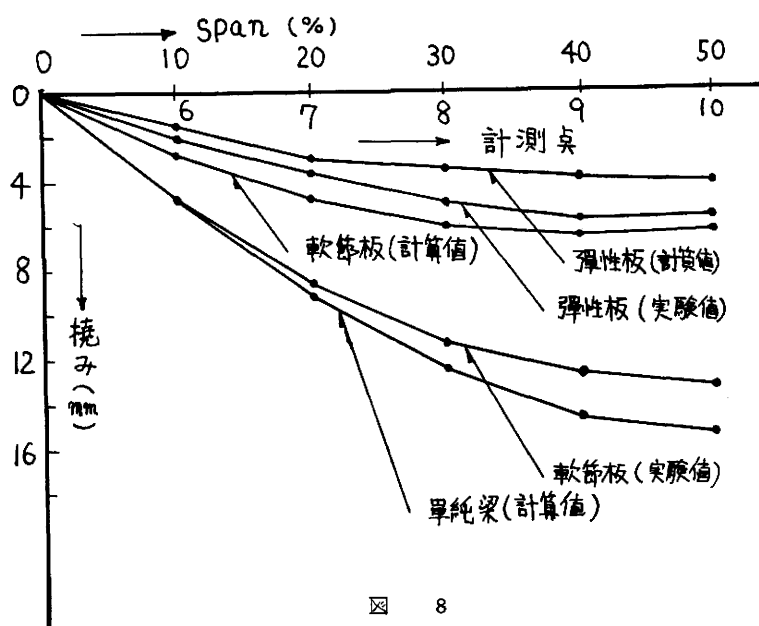
となり, λ は(38)式の根として1.618となる。

$$\lambda^2 - \lambda - 1 = 0. \dots\dots\dots(38)$$

3・5 演 算

(28-a)式と(30-a)式より ζ を消去すれば,

$$\begin{aligned} a\delta_1 - b\delta_1 &= 2r'_{0.1}, \\ (2a+b)\delta_1 - (a-b)\delta_2 &= 2(1-\eta_1), \\ (2a-b)\delta_1 - (2a+b)\delta_2 + (a-b)\delta_3 &= 2(r'_{0.1} - 1 + \eta_2), \\ (2a+b)\delta_1 - (2a-b)\delta_2 + (2a+b)\delta_3 - (2a-b)\delta_4 &= 2(2-\eta_1-\eta_3), \\ (2a-b)\delta_1 - \delta_2(2a+b) + (2a-b)\delta_3 - (2a+b)\delta_4 + (a-b)\delta_5 &= 2(r_{0.1} - 2 + \eta_2 + \eta_4). \end{aligned}$$



ここに

$$\frac{2t^3G_R}{3(1+\lambda)p\Delta\ell^2} = a, \quad \frac{S}{2(2+3\lambda)p\Delta\ell^2} = b. \quad \dots\dots\dots(40)$$

39式より $\delta_1 \sim \delta_5$ を $\lambda \cdot \eta \cdot r_0'_{.1}$ で現わし、これを(2-d)式に代入して $\eta_1 \zeta_{1.1}' \dots \eta_5 \zeta_{5.5}'$ を $\lambda \cdot \eta$ で、また(2-e)式に代入して $r_0'_{.1} \dots r_{0.5}$ を $\lambda \cdot \eta$ で現わし、これらを(34-a)式に代入して、 $\eta_1 \sim \eta_5$ を計算することができる。

例題

図1について、 λ を一定とし、 $\zeta_{1.2} = \zeta_{2.3} = \zeta_{3.4} = \zeta_{4.5} = \zeta_{5.4} = 0.5$ と仮定すれば、 $\lambda = 1.618$ となる。

この仮定のもとで(41)式の実験値を用いて数値計算すれば $\delta_1 \sim \delta_5$ の値は(42)式となる。

$$\left. \begin{array}{l} EI = 28296 \quad kgcm^2, \\ S = 237 \quad kgcm, \\ t^3G = 11512 \quad kgcm, \\ t^3G_R = 3271 \quad kgcm. \end{array} \right\} \dots\dots\dots(41) \quad \left. \begin{array}{l} \delta_1 = 0.3418p = 2.82 \times 10^{-2}mm, \\ \delta_2 = 0.5895p = 4.83 \times 10^{-2}mm, \\ \delta_3 = 0.7371p = 6.08 \times 10^{-2}mm, \\ \delta_4 = 0.7980p = 6.58 \times 10^{-2}mm, \\ \delta_5 = 0.7696p = 6.35 \times 10^{-2}mm. \end{array} \right\} \dots\dots\dots(42)$$

これを弾性板ならびに軟節板の実験値および弾性板ならびに単純梁の計算値とともに示せば図8となる。

これによれば、軟節板の1～5点の撓みの計算値に対する実験値の比の値は1.70, 1.79, 1.87, 1.93, 2.00, となり、実験値はspanの中央部で撓みが大きく出ているが、実用的には満足し得るものと考えられる。

4 む す び

周辺単純支持の軟節板の実用計算をおこなう目的で、x方向には軟節材、y方向には弾性材とした格子系として簡易計算法をこころみた。このとき実験結果を考えて λ を一定と仮定すれば、

$$i \quad \frac{5}{3} > \mu \geq 1.43$$

$$ii \quad \zeta_{1.2}' = \zeta_{1.2}, \quad \zeta_{2.3}' = \zeta_{2.3}, \quad \zeta_{3.4}' = \zeta_{3.4}, \\ \zeta_{4.5}' = \zeta_{4.5}, \quad \zeta_{5.4}' = \zeta_{5.4},$$

となり、また $\zeta_{n'.n'} = \zeta_{n.n} = 0.5$ とすれば

$$iii \quad \mu = 1.618, \quad \lambda = 1.618, \quad r_0'_{.1} = 0.46(1 - \eta_5)$$

となり、計算は極めて簡単となる。この仮定でおこなった数値計算値と実験値との誤差は8.11%であり、実

験値は計算値に比べて、Spanの中央になる程大きくなっている。

文 献

- 1) 江上：Sandwich Curtain Wallにおける軟節材鎖理論 (3), 日本建築学会論文報告集, 第144号 (昭43.2)
- 2) チモセンコ：材料力学, コロナ社
- 3) 江上：Sandwich Curtain Wallにおける軟節材鎖理論 (1), 日本建築学会論文報告集, 第127号 (昭41.9)

(昭和43年4月9日受理)